

# Utilisation des éléments finis dans la conception des ouvrages

## Opportunités et recommandations

Incidence du choix  
d'un modèle de comportement  
dans la simulation  
d'un ouvrage de géotechnique

Riou Yvon (MMGC-ECN),  
Jin Yinfu (GeM-ECN),  
Yin Zhenyu (GeM-ECN)  
Hicher Pierre-Yves (GeM-ECN)

# Base de données Momis (LCPC-1996)

Ph. Mestat, E. Bourgeois, Y. Riou

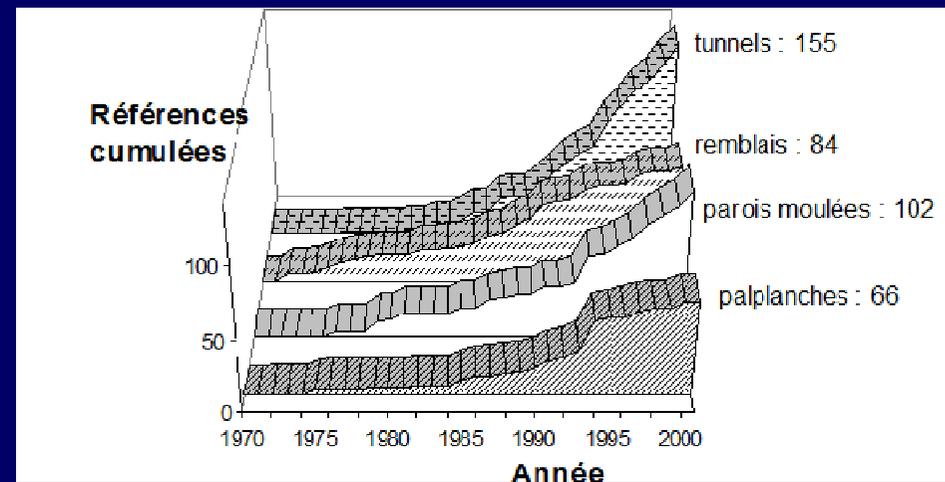
Outil de veille technologique basé sur l'expérimentation de référence en géotechnique, permettant de comparer les mesures et les résultats des modèles numériques

## Définir :

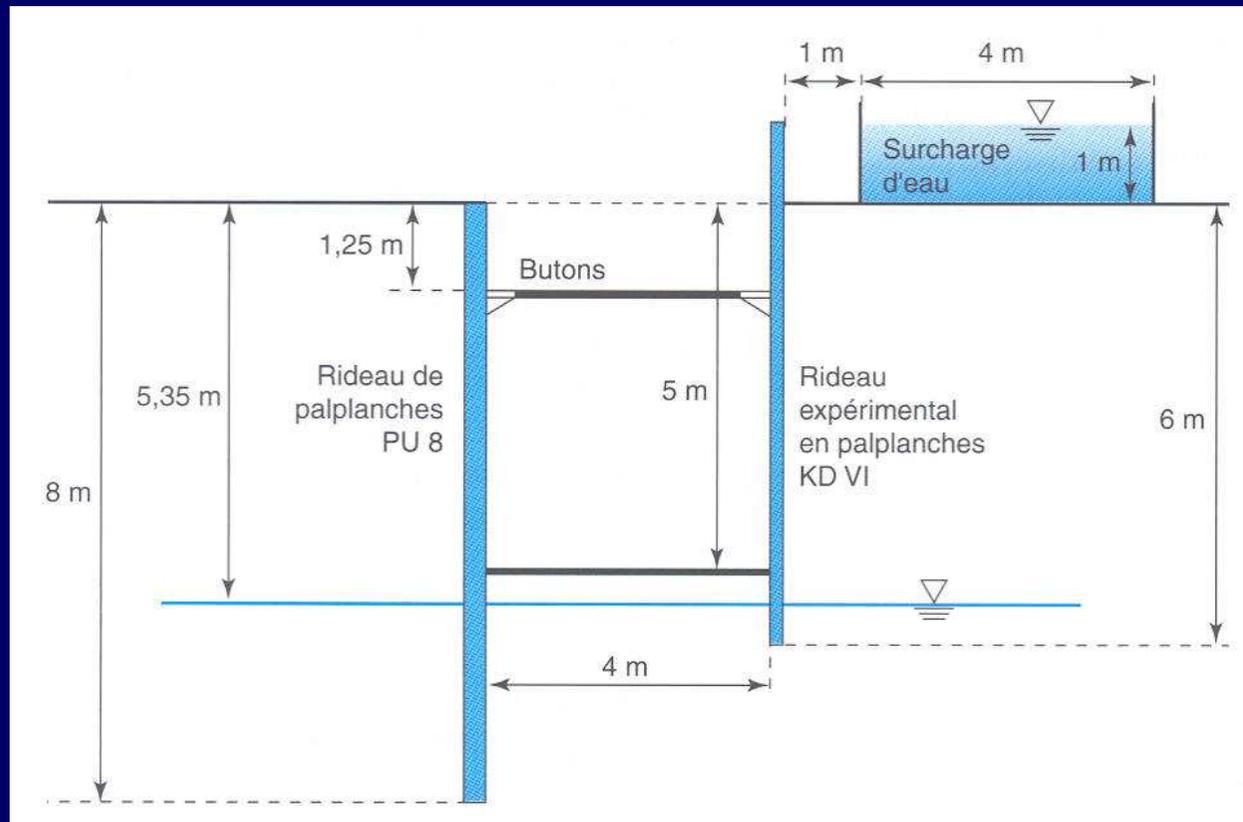
- . erreur de modèle (au sens large)
- . estimer les performances des modèles proposés

## Etablir :

- . recommandations pour de futures applications



## Exemple 1 : Mur de Hochstetten (von Wolfersdorff, 1994)



Sol : sable mal gradué, fin à moyen, de compacité moyenne,

Nappe phréatique : 5.5 m

## Essais de laboratoire

essais triaxiaux de compression, drainés  
essais de compression isotrope  
essais de cisaillement direct

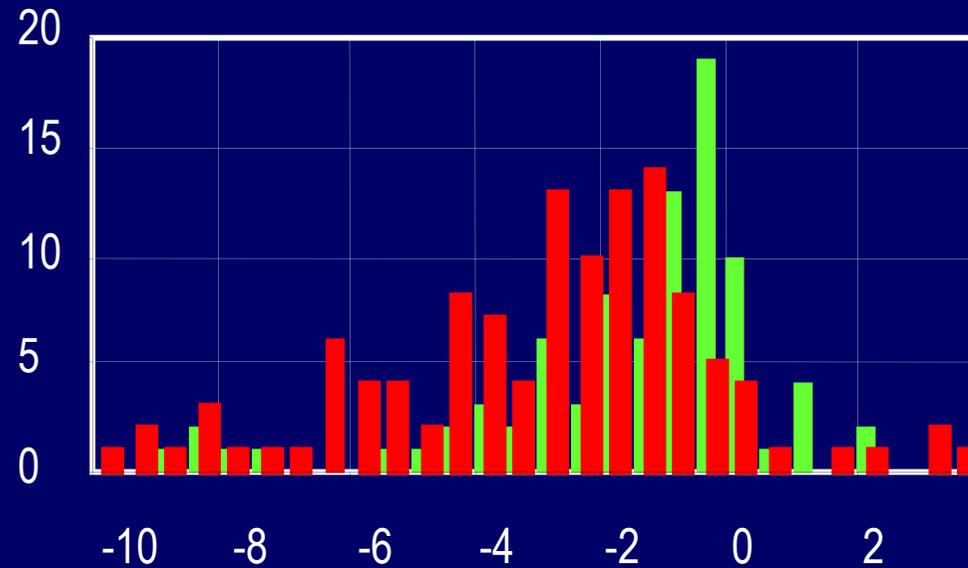
## Essais in-situ

essai de plaque avec cycle de chargement-déchargement  
essais pressiométriques

## 43 prévisions (en aveugle) :

EF :	18 prévisions
module de réaction :	23 prévisions
méthodes semi-empiriques :	2 prévisions

Nb de prévisions

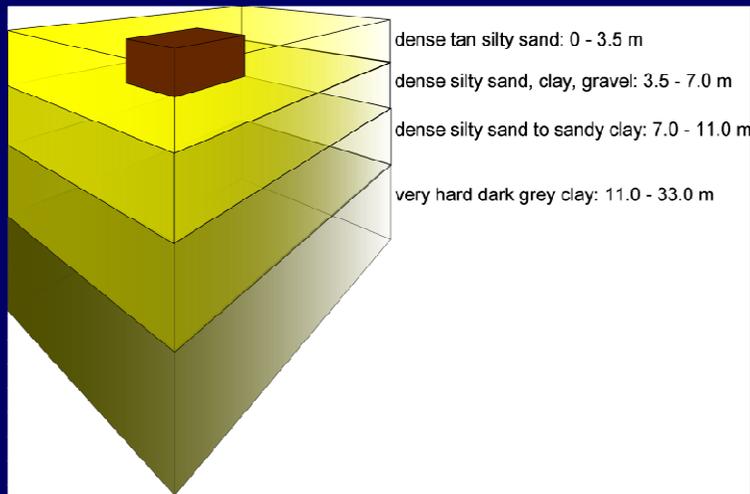


Erreur relative en déplacement

- méthodes numériques EF
- autres méthodes (module de réaction, semi-empiriques)

## Exemple 2 : Fondation superficielle, (Houston, Briaud)

semelle carrée rigide – 3\*3 m

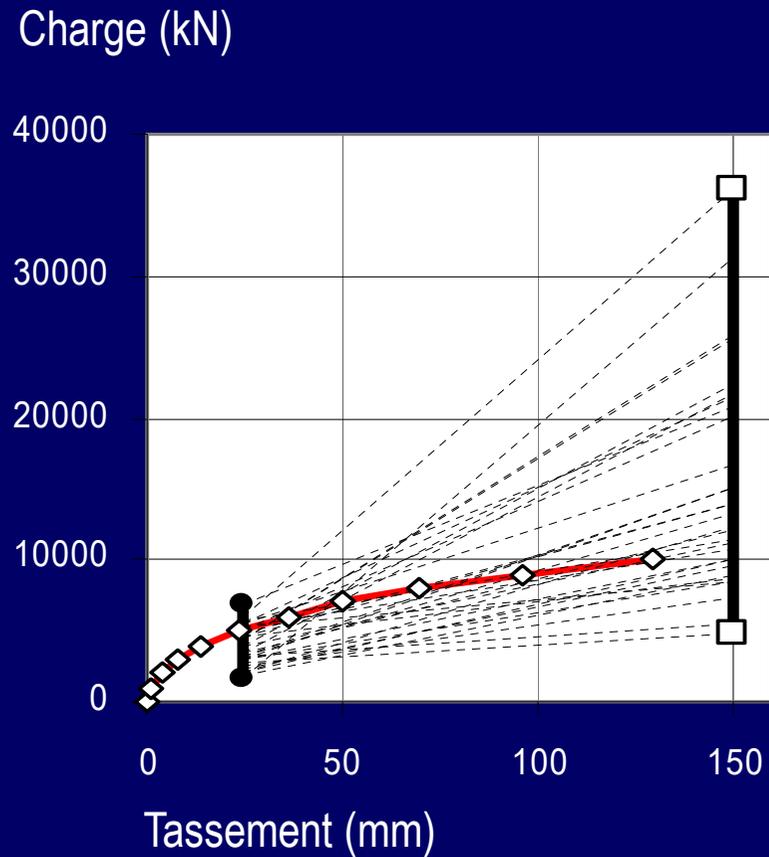


massif de sol sableux homogène.

charges correspondant à 25 et 150 mm de tassement ?

31 prévisions classées selon les 2 types de méthodes :

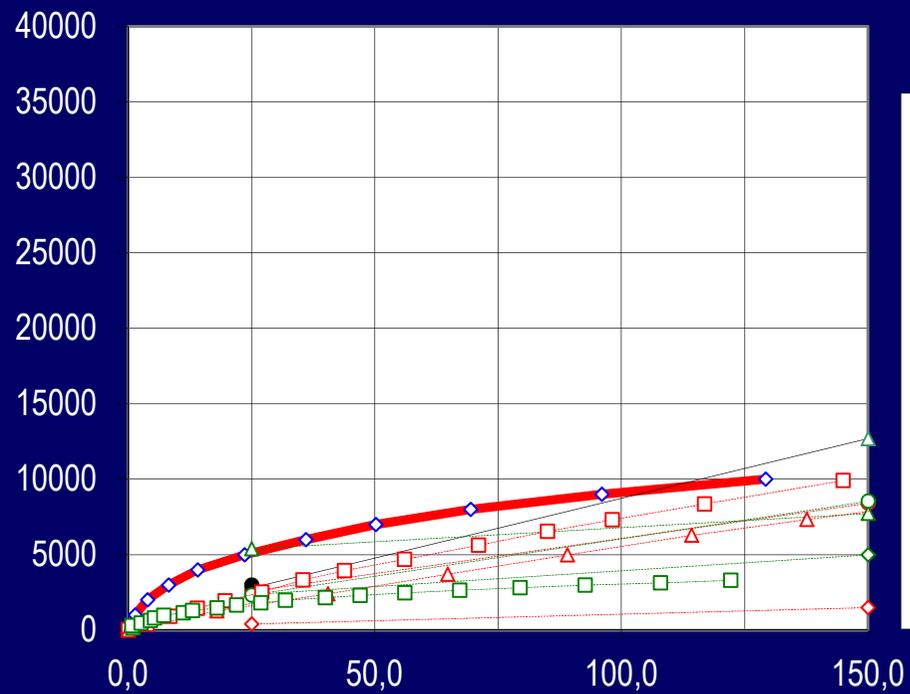
. Méthodes Semi-empiriques



Burland		SPT (NAVFAC)		
Burland		PMT charge limite 150 mm		
Schmertmann		CPT		
Schmertmann		SPT		
Schmertmann		DMT		
Schmertmann, Buisman		CPT		
Schmertmann		SPT, CPT		
Schmertmann		CPT, DMT		
Ménard		PMT		
D'Appolonia		SPT		
Canadian Found. Eng. Manual		PMT		
Canadian Found. Eng. Manual		SPT, CPT, PMT		
Léonards, Frost		CPT, DMT		
Léonards, Frost		CPT, DMT Léonards + OCR correction		
Terzaghi, Peck		SPT		
Meyerhoff		SPT		
Buisman, DeBeer		CPT		
moyenne		SPT, CPT, PMT		
moyenne		CANSET 15 méthodes (dispersion rapport 10)		

## . Méthodes Numériques

Charge (kN)



Tassement (mm)

- ◆— tassement mesuré (Nord) 30mn
- △— Elasticité (1) "adaptée"
- ◇— Elastoplasticité 1
- ◇— Hypoélasticité 1
- Elastoplasticité 2
- Elasticité adaptée (2), 3D
- △— Hypoélasticité 2
- Hypoélasticité 3
- Elastoplasticité 3
- △— Elastoplasticité 4
- Hypoélasticité 4

## Questions :

Comment interpréter ces résultats ?

En supposant que :

la géométrie, les conditions aux limites, les efforts, le maillage,  
les paramètres de résolution (non linéaire), corrects (semblables !)

Si résultats conformes à la mesure :

Est-ce que le modèle de comportement et ses paramètres sont pertinents ?

Si résultats non conformes à la mesure :

Est-ce le modèle de comportement ou les paramètres qui sont à remettre en cause ?



## Objectif :

Analyse de la pertinence des modèles de comportement

## Comment :

Procédure d'identification des paramètres du modèle, commune à chaque modèle  
impartiale, objective

Basée sur l'optimisation

réduction de l'écart entre la mesure et la simulation numérique d'un essai



simple calage

Essai pressiométrique

## Ouvrages :

Mur de soutènement  
Fondation superficielle  
Tunnel

Hochstetten  
Houston  
essai en centrifugeuse  
LCPC, P. Chambon

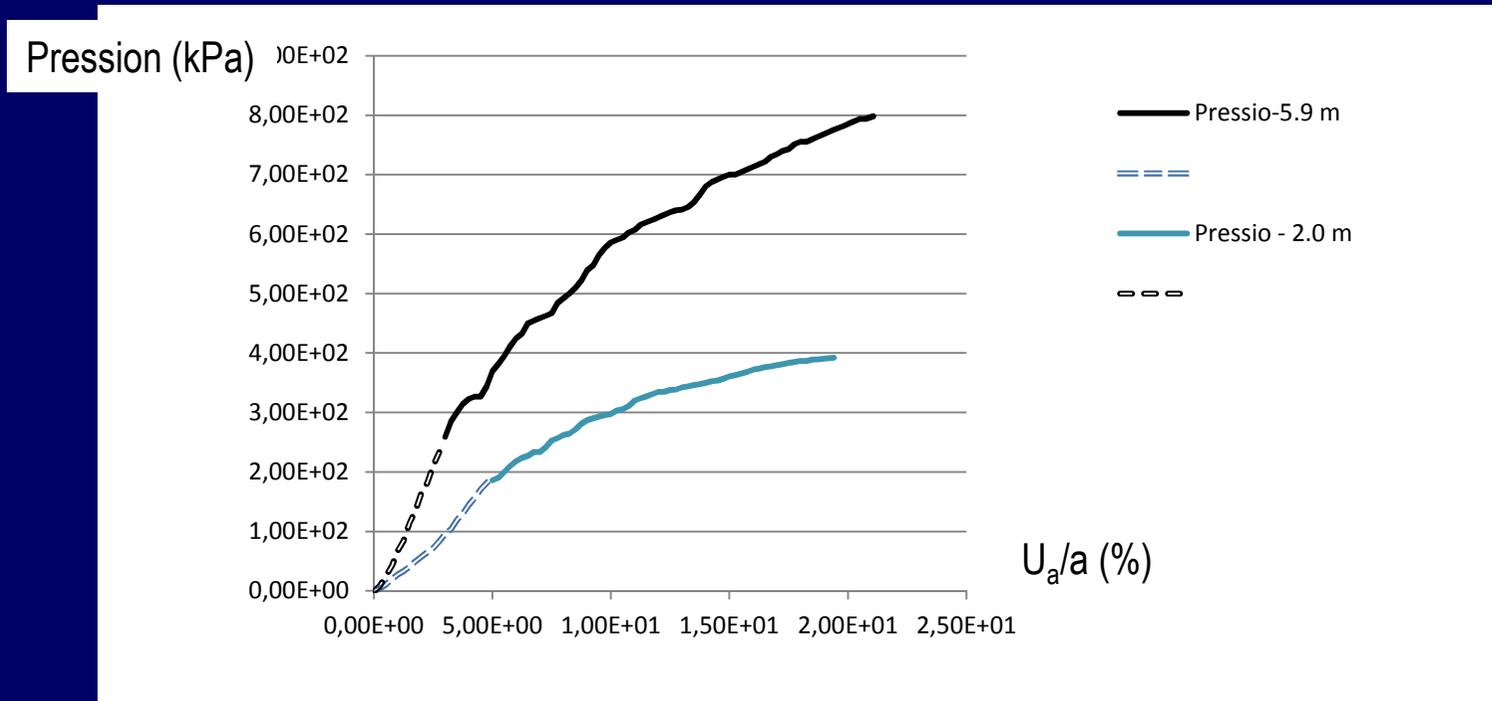
## Modèles de comportement :

Mohr-Coulomb  
Cam Clay  
Nova  
Vermeer  
Hardening Soil Model  
...

# Fondation superficielle de Houston

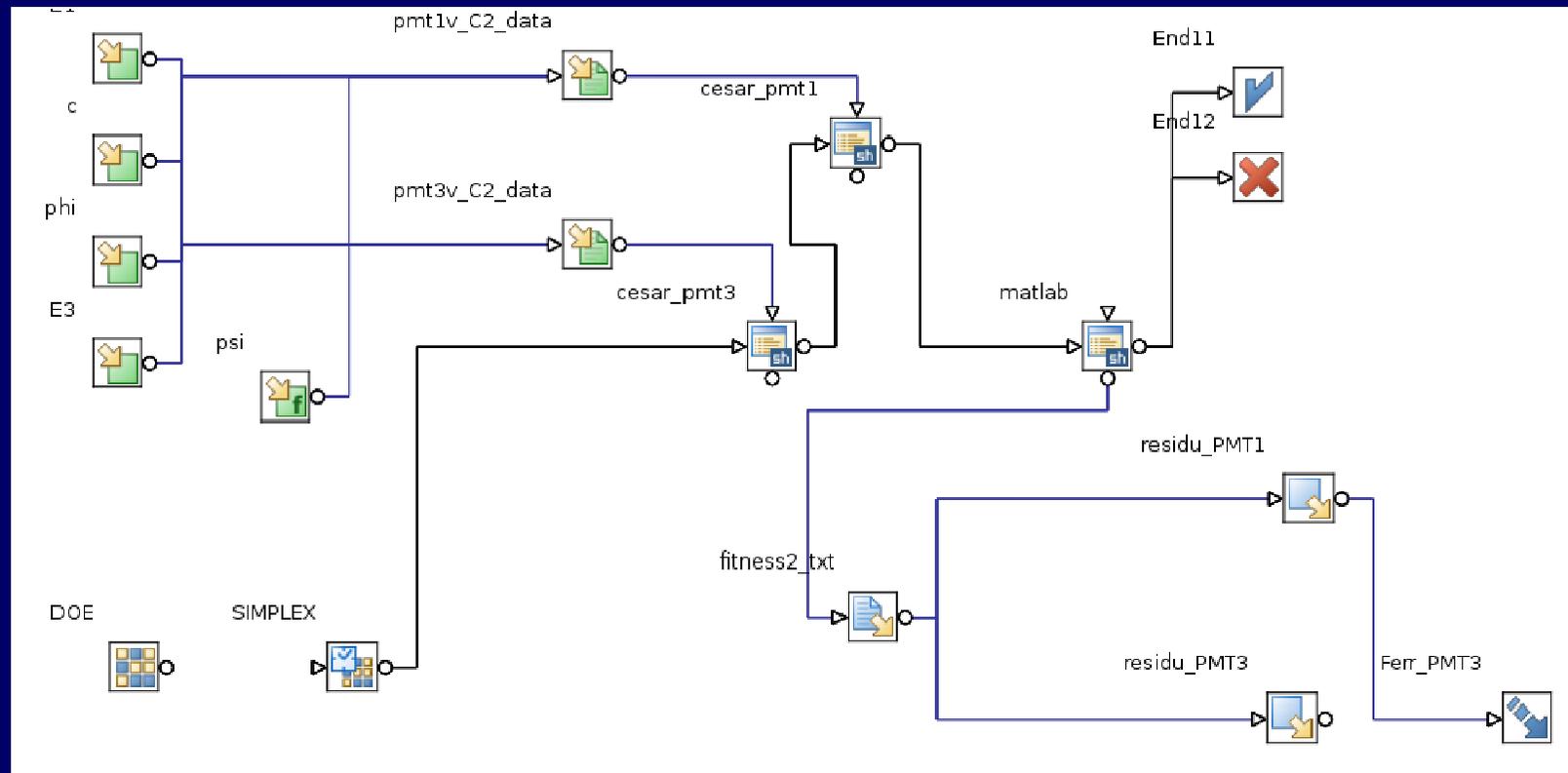
2 pressiomètres (2m, 5.9m) :

Modèle Mohr Coulomb

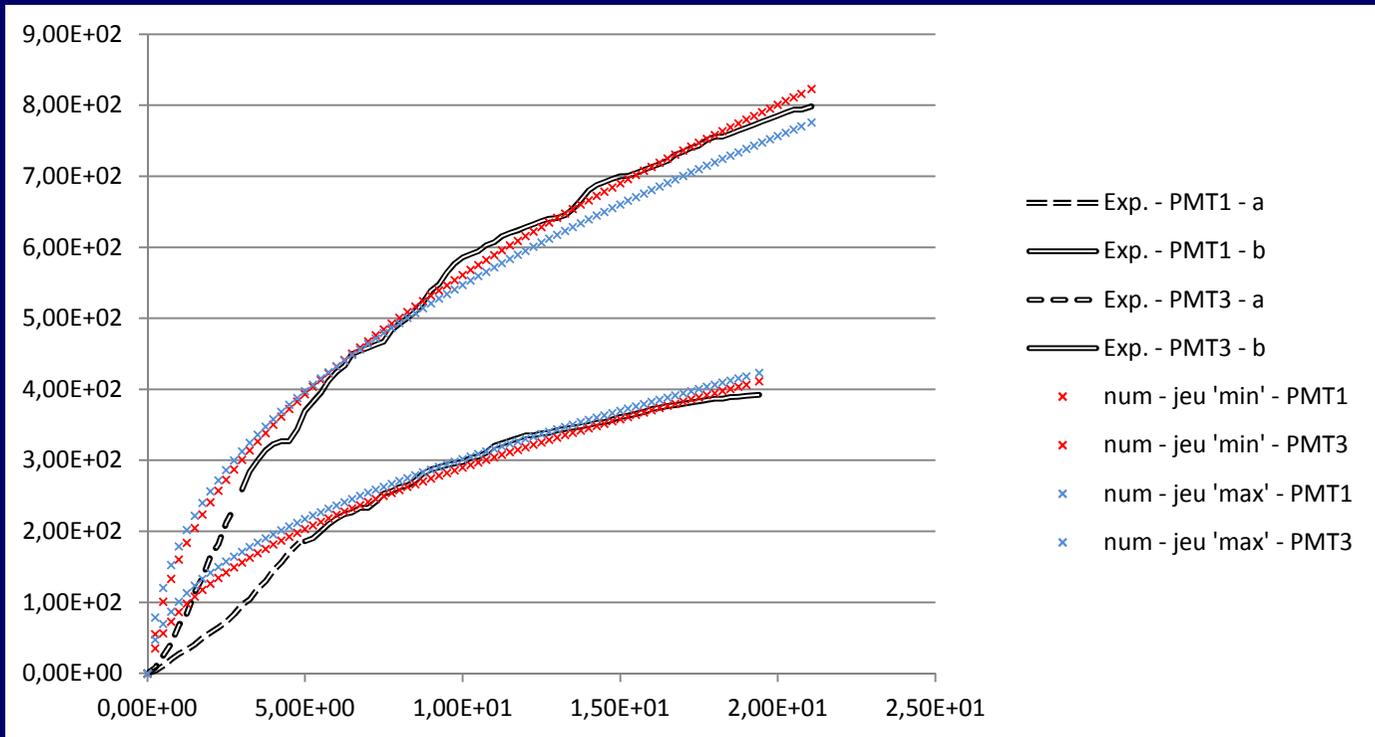


# Procédure d'identification des paramètres par optimisation

Logiciel : modeFRONTIER

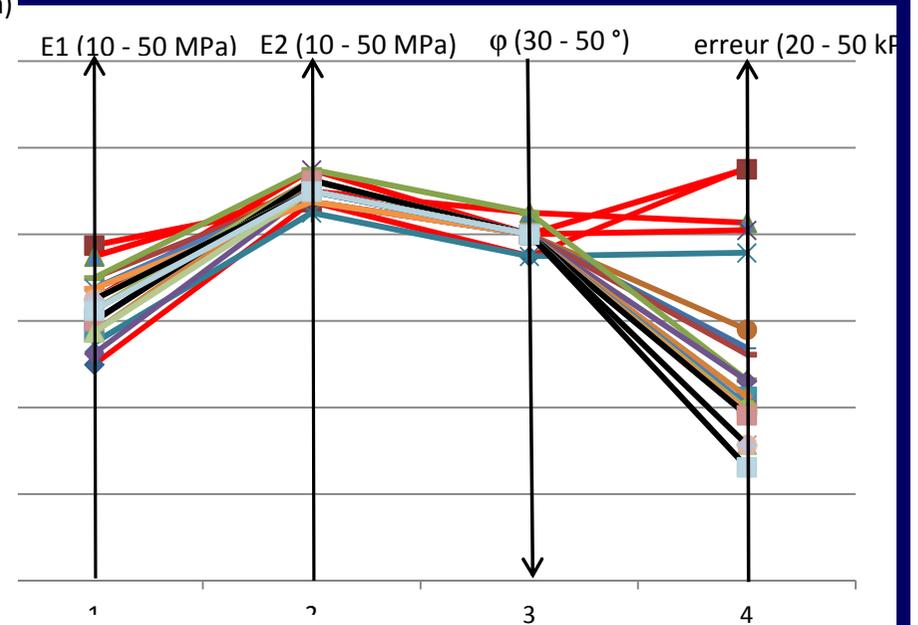
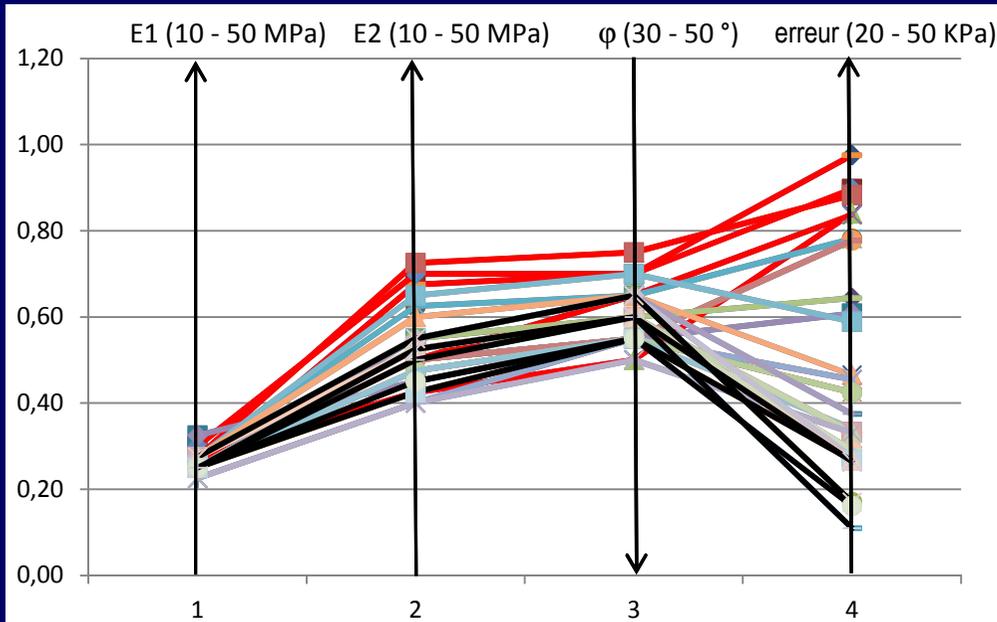


# Tolérance par rapport à la mesure

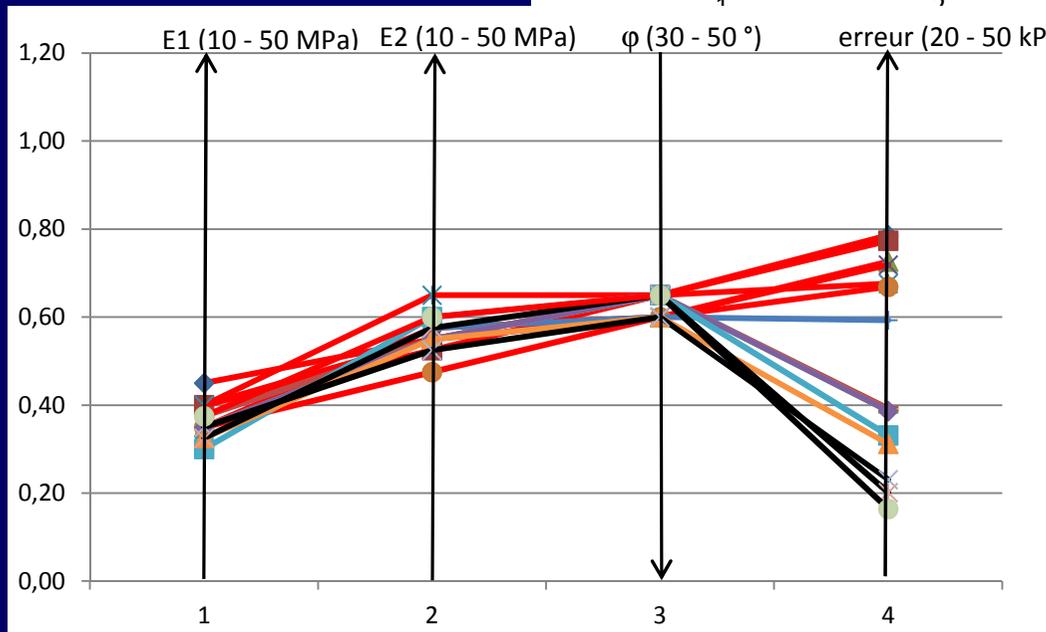


# Optimisation : Simplexe

E1, E2, C,  $\phi$  et  $\psi$  pour une erreur < 50kPa



Initialisation UHL



Initialisation Random

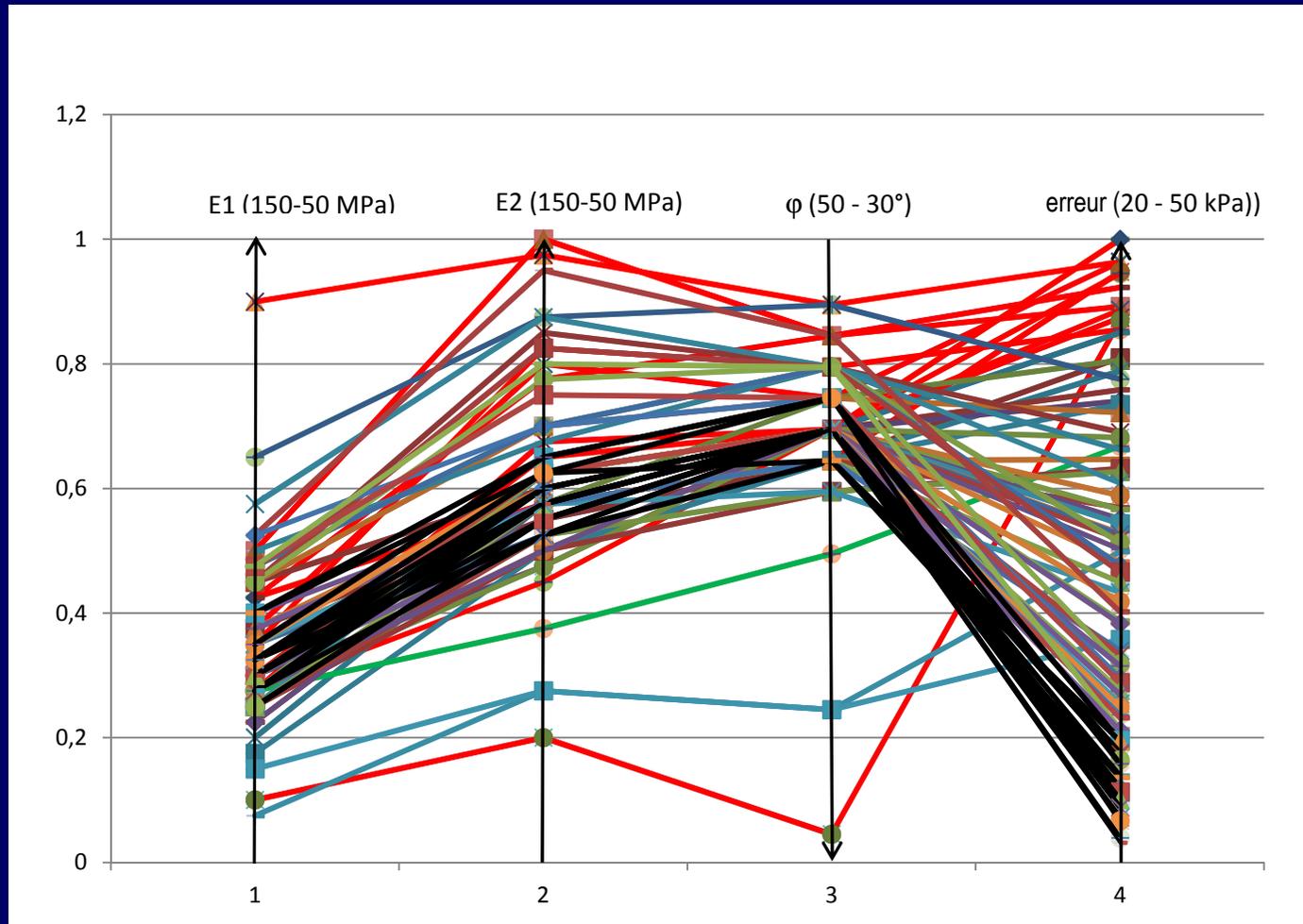
Initialisation Sobol

Résultats dépendants de l'initialisation

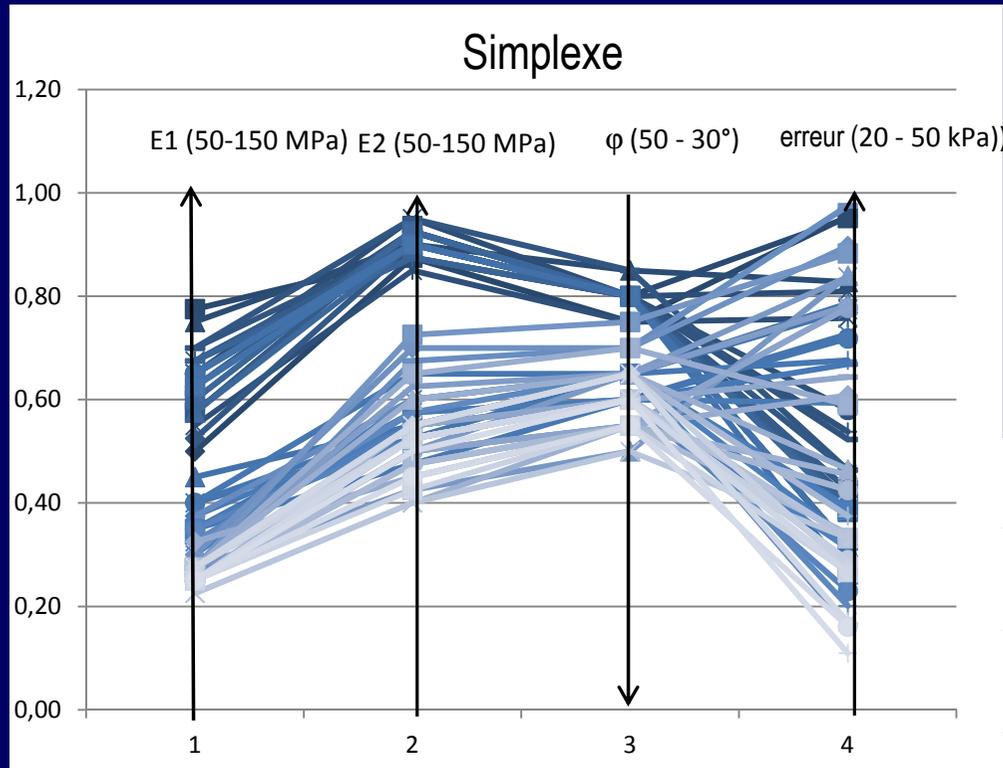


Méthode stochastique d'optimisation :  
Algorithmes Génétiques

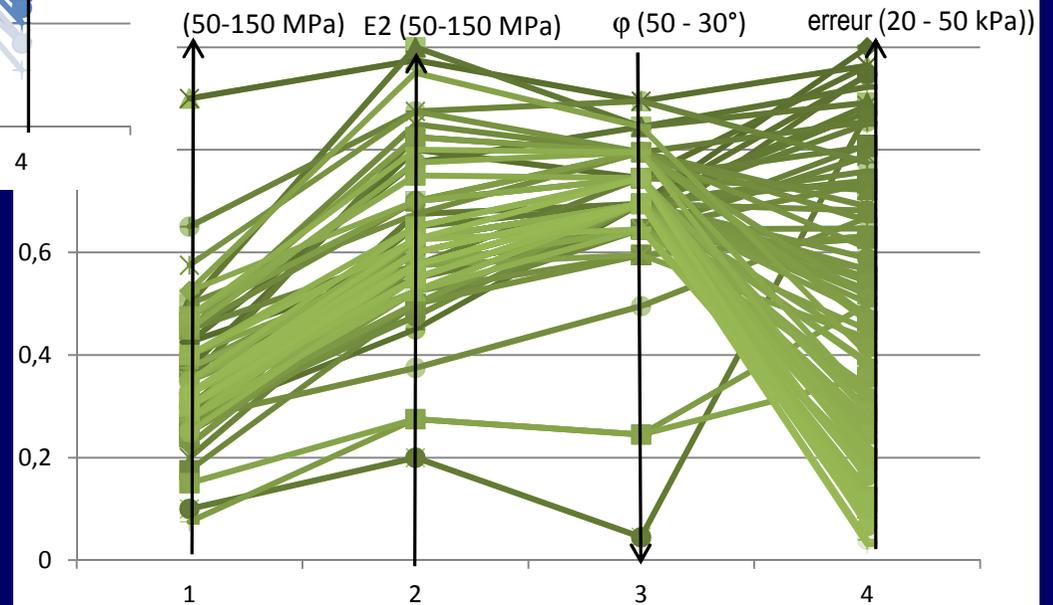
# Optimisation avec algorithmes génétiques



# Comparaison Simplex- Algorithmes génétiques



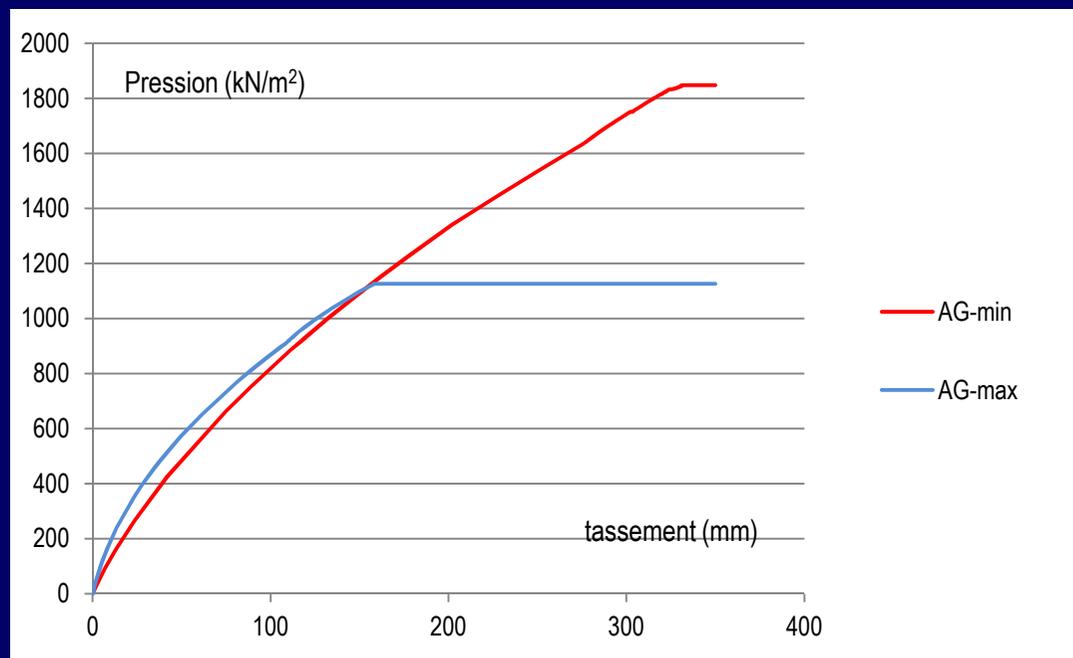
## Algorithmes génétiques



AG : exploration plus large (continue)  
 $\phi$  plus faibles  
Simplex : E2 plus élevés

# Courbe Charge – Tassement : Fondation de Houston

	$E_1$ (kPa)	$E_3$ (kPa)	n	c (kPa)	$\phi$ (°)	$\psi$ (°)	Erreur (kPa)
Jeu 'min'	20000,00	30000,00	0,33	7,00	38,00	8,00	23,29
Jeu 'max'	40000,00	46000,00	0,33	3,00	33,00	3,00	44,82



## Prochaines étapes :

Etude de sensibilité sur les paramètres de la méthode des Algorithmes Génétiques  
valeurs initiales, nbr. de points initiaux ...

Implémentation de la procédure sur des systèmes informatiques plus performants

Exploitation d'autres modèles de comportement : Hardening Soil Model, Vermeer ... (sable)

Comparaison entre modèles de comportement :

sensibilité de la réponse vis-à-vis des jeux « acceptables »

Comparaison avec expérimentations

déplacements, contraintes

mécanismes

Autres ouvrages d'art

Autres essais d'identification

# Pour information

